

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

● **Offenlegungsschrift** ●

⑩ **DE 197 50 179 A 1**

②1 Aktenzeichen: 197 50 179.6
②2 Anmeldetag: 13. 11. 97
④3 Offenlegungstag: 25. 2. 99

⑤1 Int. Cl.⁶:

H 04 R 17/00

H 04 R 7/04
H 04 R 1/02
H 01 L 41/08
B 06 B 1/06

Appl. No. 09/815,250
Document No. AL1

DE 197 50 179 A 1

⑥6 Innere Priorität:
197 36 808. 5 23. 08. 97

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:
Rechts- und Patentanwälte Reble & Klose, 68165
Mannheim

⑦2 Erfinder:
Hahn-Jose, Thomas, Dipl.-Ing., 66386 St Ingbert,
DE

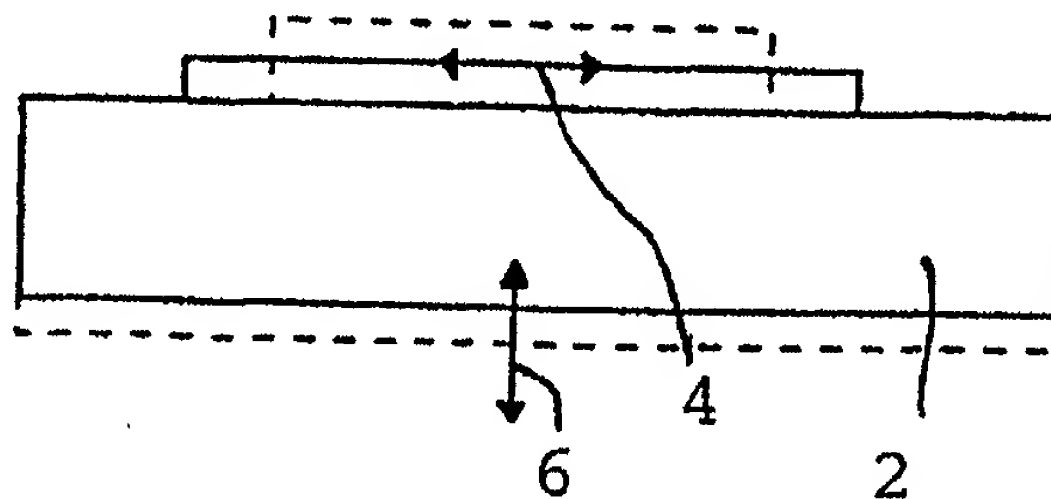
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 43 30 747 C1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schallwandler

⑤7 Ein Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler, enthält eine piezokeramische Scheibe. Dieser soll dahingehend weitergebildet werden, daß eine verbesserte effiziente Wandlung elektromagnetische Wellen in mechanische Wellen, oder umgekehrt, realisierbar ist. Hierzu wird vorgeschlagen, daß ein Verbund aus einer piezokeramischen Scheibe und einer Membrane vorgesehen ist, welche als ein monomorpher Biegeschwinger ausgebildet ist. Die Membrane besteht aus einem Epoxyd-Hohlglas-kugel-Gemisch oder einem hinsichtlich der schaltechnischen Eigenschaften vergleichbaren Werkstoff, wobei der planare Schwingungsmodus in der Piezokeramik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine Dickenschwingung umgesetzt wird, welche nach der Transformation durch eine Koppelschicht niedriger akustische Impedanz an das Ausbreitungsmedium, insbesondere Luft, angepaßt wird.



DE 197 50 179 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen Schallwandler gemäß den im Oberbegriff des Patentanspruchs angegebenen Merkmalen.

Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler dienen zur Wandlung elektromagnetischer Wellen in mechanische Wellen oder umgekehrt, wobei auf der Oberfläche des Schallwandlers bzw. Ultraschall-Wandlers möglichst große Teilchenverschiebungen mit schnellen Anstiegszeiten angestrebt werden. Bekanntlich basiert die Ultraschalltechnik auf akustischen, also mechanischen Wellen, wobei sich eine derartige Welle aus Schwingungen der einzelnen Stoffteilchen im Ausbreitungsmedium aufbaut. In Fluiden, also Gasen und Flüssigkeiten, treten keine Transversalwellen auf, so daß insoweit nur die Longitudinal- oder Dichtewellen von Interesse sind. Die Intensität I einer solchen Welle ergibt sich nach der Formel:

$$I = 0,5 \times Z \omega^2 \xi^2$$

Hierin bedeutet Z die akustische Impedanz des Ausbreitungsmediums (Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit), ω die Teilchenfrequenz und ξ die Teilchenauslenkung. Ferner besteht für Dichtewellen der Zusammenhang:

$$Z = p/c$$

mit der akustischen Impedanz Z , der Schallgeschwindigkeit c und dem Schalldruck p . Ausgehend von dem Ausbreitungsmedium Luft ($Z = 0,430 \text{ MRayl}$) wird ersichtlich, daß die Amplitude der Teilchenauslenkung im Vergleich zu deren Kraft intensitätsbestimmend ist.

Für die Konvertierung elektrischer in mechanische Energie unter der Randbedingung der Schallabstrahlung in Gasen sind unterschiedliche Prinzipien bekannt. So besteht ein Dickenschwinger aus einer piezoelektrischen Keramik in Form eines Zylinders oder einer Scheibe. Diese schwingt kolbenartig in ihrer Dicke, wobei die Dicke als geometrischer Faktor die Resonanzfrequenz bestimmt. Durch Variation des Durchmessers ist es möglich, die räumliche Verteilung des nach vorne austretenden Schallfeldes zu beeinflussen.

Häufig werden diese Schwinger frontseitig mit akustisch optimierten $\lambda/4$ -Schichten versehen bzw. rückseitig durch geeignete Materialien bedämpft, um ein besseres zeitliches Übertragungsverhalten zu erreichen. Vorteilhaft bei dieser Technik ist vor allem die hohe erreichbare Übertragungsbandbreite (mechanische Güte < 10). Problematisch ist die bei niedrigen Frequenzen notwendige Dicke der Piezokeramiken, die einen hohen elektrischen Quell- bzw. Lastwiderstand bewirken.

Ferner sind Biegeschwinger bekannt, welche sich durch eine Sandwichstruktur auszeichnen, wobei zum einen monomorphe Biegeschwinger und zum anderen bimorphe Biegeschwinger unterschieden werden. Der monomorphe Biegeschwinger besteht aus einer Membrane (meist Metall), auf die die Piezokeramik aufgebracht ist. Die Keramik ist kleiner als der Membranedurchmesser. Da die Keramik in einer planaren Resonanz betrieben wird, beeinflußt sie die Resonanzfrequenz durch ihren Radius. Dadurch kann die Dicke der Keramik sehr dünn, und der elektrische Quellwiderstand gering sein. Die Resonanzfrequenz bestimmt sich aus der Geometrie der einzelnen Komponenten und der gegenseitigen Verklebung. Die Wandler sind sehr kostengünstig, sehr effizient, klein, jedoch äußerst schmalbandig (relative 6 dB P/E-Bandbreite $< 3\%$). Bei der zusätzlichen Bedämpfung solcher Schwinger sinkt die Effizienz extrem stark ab. Hin-

gegen besteht der bimorphe Biegeschwinger aus zwei gegensätzlich polarisierten, miteinander verbundenen PZT-Platten. Die sehr effizienten Wandler sind schwer bei Frequenzen über 80 kHz betreiben und relativ kostenaufwendig.

Schließlich sind elektrostatisch betriebene Wandler bekannt, bei welchen die Auslenkung einer Membrane durch elektrostatische Kräfte erzeugt wird. Derartige Wandler reagieren sehr empfindlich auf Änderungen der Umgebungsparmeter, wie Temperatur und Feuchte, und sind relativ teuer.

Gemäß den erläuterten Standard-Techniken können zum einen sehr schmalbandige und effektive Luftschallwandler und zum anderen breitbandige, aber recht unempfindliche Luftschallwandler realisiert werden.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler vorzuschlagen, mit welchem eine verbesserte effiziente Wandlung elektromagnetischer Wellen in mechanische Wellen, oder umgekehrt, realisierbar ist. Der Schallwandler soll bei einfacher Konstruktion eine hohe Funktionssicherheit aufweisen und einen niedrigen Fertigungsaufwand erfordern. Es soll ein breitbandiger Luftschallwandler geschaffen werden, welcher eine verbesserte Empfindlichkeit aufweist.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt gemäß den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen.

Der erfindungsgemäße Schallwandler vereinigt in besonders zweckmäßiger Weise zwei Schwingerprinzipien. Es ist ein Verbund aus piezokeramischer Scheibe und einer Membran, vorzugsweise aus einem Epoxyd-Hohlglaskugel-Gemisch oder einem schalltechnisch vergleichbaren Werkstoff vorgesehen, welcher einen monomorphen Biegeschwinger bildet. Die Membrane ist in bevorzugter Weise Teil eines Wandlergehäuses. Ferner wird der planare Schwingungsmodus in der Piezokeramik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine Dickenschwingung umgesetzt, welche nach der Transformation durch eine Koppelschicht, welche eine niedrige akustische Impedanz aufweist, an das Ausbreitungsmedium, vorzugsweise Luft, angepaßt wird. Weiterbildungen und besondere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen sowie der weiteren Beschreibung angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch die Konversion von radialer Schwingung in eine Dickenschwingung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Biegeschwingung,

Fig. 3 eine Darstellung der Kopplung der Resonanzen,

Fig. 4 beispielhaft ein Diagramm eines Echsignals.

In Fig. 1 ist schematisch eine seitliche Ansicht einer Piezokeramik 2 dargestellt, deren planarer Schwingungsmodus gemäß Pfeilen 4 durch das Querkontraktionsverhältnis gemäß Doppelpfeil 6 in eine Dickenschwingung umgesetzt wird.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Membran 8 mit aufgesetzter Piezokeramik 10.

Anhand von Fig. 3 wird erläutert, daß die gewünschte Übertragungsbandbreite erfindungsgemäß dadurch erreicht wird, daß die Mittenfrequenz der beschriebenen Resonanzfrequenzen f_2 und f_3 gegeneinander verschoben werden. Hierdurch wird eine kritische Kopplung der Resonanzen in besonders zweckmäßiger Weise erzwungen. Im vorliegenden Fall wird die Dickenresonanz f_2 der Dickenschwingung der Piezokeramik unterhalb der Biegeschwingung f_3 der Membran gelegt. Die Membrane besteht erfindungsgemäß aus einem Epoxyd-Glashohlkugelmisch oder einem schalltechnisch vergleichbaren Werkstoff. Durch dieses, bezogen auf die Gesamtnutzfrequenz asymmetrische, zu höhe-

ren Frequenzen verschobene Spektrum wird erfindungsge-
mäß ein schnelles Einschwingen des Wandlers erreicht. Die
Membran-Mittenfrequenz f_3 ist um einen vorgegebenen
Faktor größer als die Mittenfrequenz f_2 der Dickenschwin-
gung der Piezokeramik. Dieser Faktor liegt insbesondere im
Bereich zwischen 1,05 bis 1,30, vorzugsweise im Bereich
zwischen 1,0 bis 2,0.

Ausführungsbeispiel

Die Nutzresonanzen ergeben sich insbesondere wie folgt:

- Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_2 wird durch
die Dickenschwingung der Piezokeramik erzeugt. Sie
kann beispielsweise 143 kHz betragen.
- Die Resonanz der Mittenfrequenz f_3 der Membran
wird durch die monomorphe Biegeschwingung be-
stimmt. Sie kann beispielsweise 160 kHz betragen.
- Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_1 wird be-
vorzugt durch die Gehäuseschwingung festgelegt. In
zweckmäßiger Weise wird ein topfförmiges Gehäuse
vorgesehen, wobei die Mittenfrequenz f_1 abhängig ist
von der Topfgeometrie, insbesondere von der Dicke
und Höhe der Gehäusewandung. In zweckmäßiger
Weise werden kleine Gehäuseabmaße vorgegeben, wo-
bei vor allem geringe Wanddicken des Topfes höhere
Resonanzfrequenzen bedeuten. Die Mittenfrequenz f_1
liegt insbesondere bei 70 kHz.

Die Gehäuseresonanz ist recht schwer zu kontrollieren
und liegt zweckmäßig niedriger als die Nutzfrequenz. Um
sie bei der hier aus Platzgründen dünn vorgegebenen Gehäu-
sewandung zu niedrigen Frequenzen, also aus dem Nutzfrequenz-
bereich, zu schieben, wird der Topf bevorzugt mit einer
dämpfenden Masse dem sogenannten Backing gefüllt. Neben der
Verschiebung der Gehäuseresonanz zu niedrigeren
Frequenzen erreicht man durch das Backing auch eine
Bedämpfung der Dickenschwingung und Biegeschwingung
und damit ebenfalls eine niedrigere Güte dieser Resonanz.
Die Resonanz mit der Mittenfrequenz f_1 wird im Rahmen
der Erfindung um einen vorgegebenen Faktor kleiner als die
Mittenfrequenz f_3 der Membran gewählt. Dieser Faktor
liegt insbesondere im Bereich zwischen 0,35 bis 0,7, vor-
zugsweise im Bereich zwischen 0,4 bis 0,6.

Zweckmäßige Auslegung

Der Durchmesser der Piezokeramik ergibt sich aus der
Lage der Dickenschwingung f_2 . Bei 140 kHz beträgt der
Durchmesser 11,7 mm. Die Membran-Dicke ergibt sich
ebenfalls aus der Dickenresonanz f_2 . Sie entspricht der
Viertelwellenlänge einer die Membrane durchquerende aku-
stischen Welle. Es gilt somit $d = c/(4 \cdot f_2)$, und zwar mit der
Membrandicke d , die der Schallgeschwindigkeit c in der
Membrane und der Resonanzfrequenz f_2 .

Der Durchmesser der Membrane ergibt sich, kombiniert
mit der Dicke der Piezokeramik, dem festgelegten Durch-
messer der Piezokeramik, der Art der Klebung zwischen der
Piezokeramik und der Membrane, den elastischen Material-
parametern der Membrane sowie der festgelegten Dicke der
Membrane aus der Resonanzfrequenz f_3 .

Hierbei gilt, daß die Resonanzfrequenz einer am Rand ge-
faßten Membrane definiert ist mit:

$$f = at/D^2,$$

und zwar mit der Resonanzfrequenz f , der Membrandicke t
und dem Membrandurchmesser D . Der Proportionalitätsfak-

tor a ist abhängig von den oben beschriebenen Randbedin-
gungen. Aufgrund der Vielzahl der Abhängigkeiten ist der
Membrandurchmesser experimentell zu bestimmen. Hierbei
wird in zweckmäßiger Weise die Keramikdicke als wesent-
licher Faktor zum Erreichen einer höheren Membransteifig-
keit ausgenutzt. So kann der Membrandurchmesser bei-
spielsweise 12,2 mm betragen. Die Keramikdicke ergibt
sich experimentell aus obigen Ausführungen. Sie beeinflusst
auch das Verhältnis der Schwingungsamplituden der Reso-
nanzfrequenzen f_2 und f_3 . Die Membrandicke kann in ei-
ner zweckmäßigen Ausgestaltung zu 0,7 mm gewählt wer-
den. Die mechanische Verbindung von Keramikscheibe und
Membrane muß Scherkräfte übertragen können und wird im
Rahmen der Erfindung am günstigsten durch eine dünne,
harte Klebeschicht realisiert.

Fig. 4 zeigt ein Diagramm eines Echsignals des erfin-
dungsgemäßen Wandlers. Das optimierte akustische Verhal-
ten des Wandlers ergibt sich unmittelbar aus dem schnellen
Einschwingverhalten gemäß der dargestellten Pulsform. Die
erreichbare Übertragungsbandbreite (Puls/Echo, 3 dB) liegt
bei etwa 31%. Die Pulslänge, und zwar für 10 bis 90% der
Energie, beträgt näherungsweise 2,5 Perioden der Mittenfre-
quenz.

Patentansprüche

1. Schallwandler, insbesondere Luftschallwandler,
enthaltend eine piezokeramische Scheibe, **dadurch ge-
kennzeichnet**, daß ein Verbund aus einer piezokerami-
schen Scheibe und einer Membrane vorgesehen ist und
ein monomorpher Biegeschwinger gebildet ist, wobei
die Membrane aus einem Epoxyd-Hohlglaskugel-Gem-
isch oder einem hinsichtlich der schalltechnischen
Eigenschaften vergleichbaren Werkstoff besteht, und
daß der planare Schwingungsmodus in der Piezokera-
mik mittels des Querkontraktionsverhältnisses in eine
Dickenschwingung umgesetzt wird, welche nach der
Transformation durch eine Koppelschicht niedriger
akustischer Impedanz an das Ausbreitungsmedium,
insbesondere Luft, angepaßt wird.
2. Schallwandler, insbesondere nach Anspruch 1, da-
durch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenzen f_2
und f_3 der Resonanzfrequenzen der piezokeramischen
Scheibe und der Membran derart gegeneinander ver-
schoben sind, daß eine kritische Kopplung der Reso-
nanzen erzwungen wird.
3. Schallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_3 der Mem-
brane um einen gegebenen Faktor größer ist als die
Mittenfrequenz f_2 der piezokeramischen Scheibe, wo-
bei dieser Faktor insbesondere im Bereich zwischen
1,05 bis 1,3, vorzugsweise im Bereich zwischen 1,0 bis
2,0 liegt.
4. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_1
der Resonanz einer Gehäuseschwingung um einen vor-
gegebenen Faktor kleiner als die Mittenfrequenz f_2 der
Piezokeramik, wobei dieser Faktor insbesondere im
Bereich zwischen 0,35 bis 0,7, vorzugsweise im Be-
reich zwischen 0,4 bis 0,6 liegt.
5. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelschicht und/
oder mechanische Verbindung der Piezokeramik und
Membrane durch eine dünne, harte Klebeschicht aus-
gebildet ist.
6. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die Dickenresonanz der
Piezokeramik auf die Gesamtnutzfrequenz des Wand-

lers gelegt ist und daß die Biegeschwingung f_3 der Membrane frequenzmäßig etwas oberhalb der Gesamtnutzfrequenz plaziert ist.

7. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrane als Teil 5 des Wandlergehäuses ausgebildet ist.

8. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittenfrequenz f_2 der Dickenschwingung in der Größenordnung von 142 kHz liegt und die Mittenfrequenz f_3 , welche durch 10 die monomorphe Biegeschwingung bestimmt ist, in der Größenordnung von 160 kHz vorgegeben ist.

9. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse topfförmig 15 ausgebildet ist und mit einer dämpfenden Masse und/oder Backing gefüllt ist.

10. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Dämpfergehäuse Dämpfungsmaterial vorgesehen ist, insbesondere aus 20 Aluminiumoxyd und/oder Wolfram und/oder Polymer.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

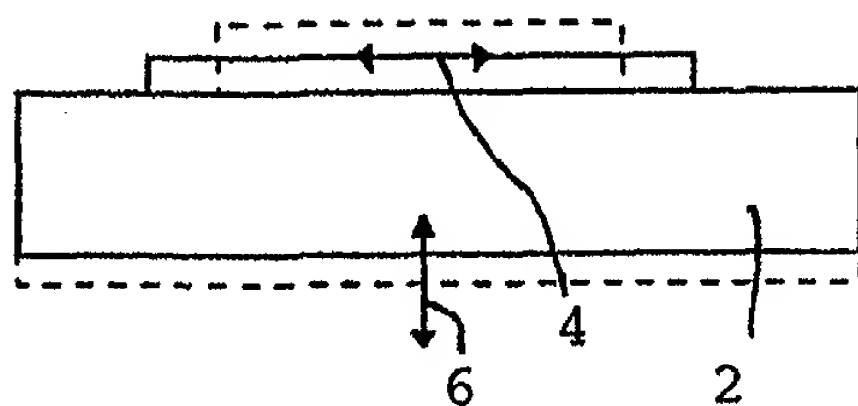
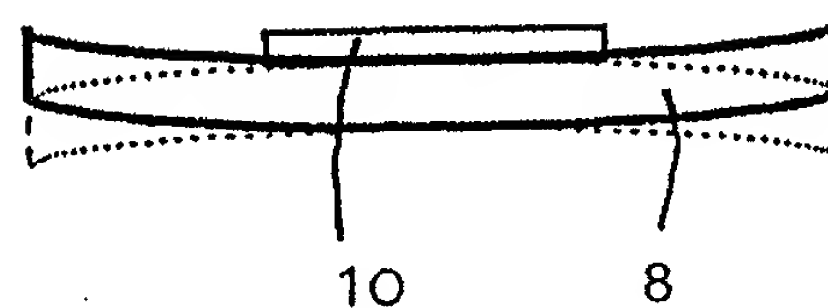


Fig. 2



Amplitude

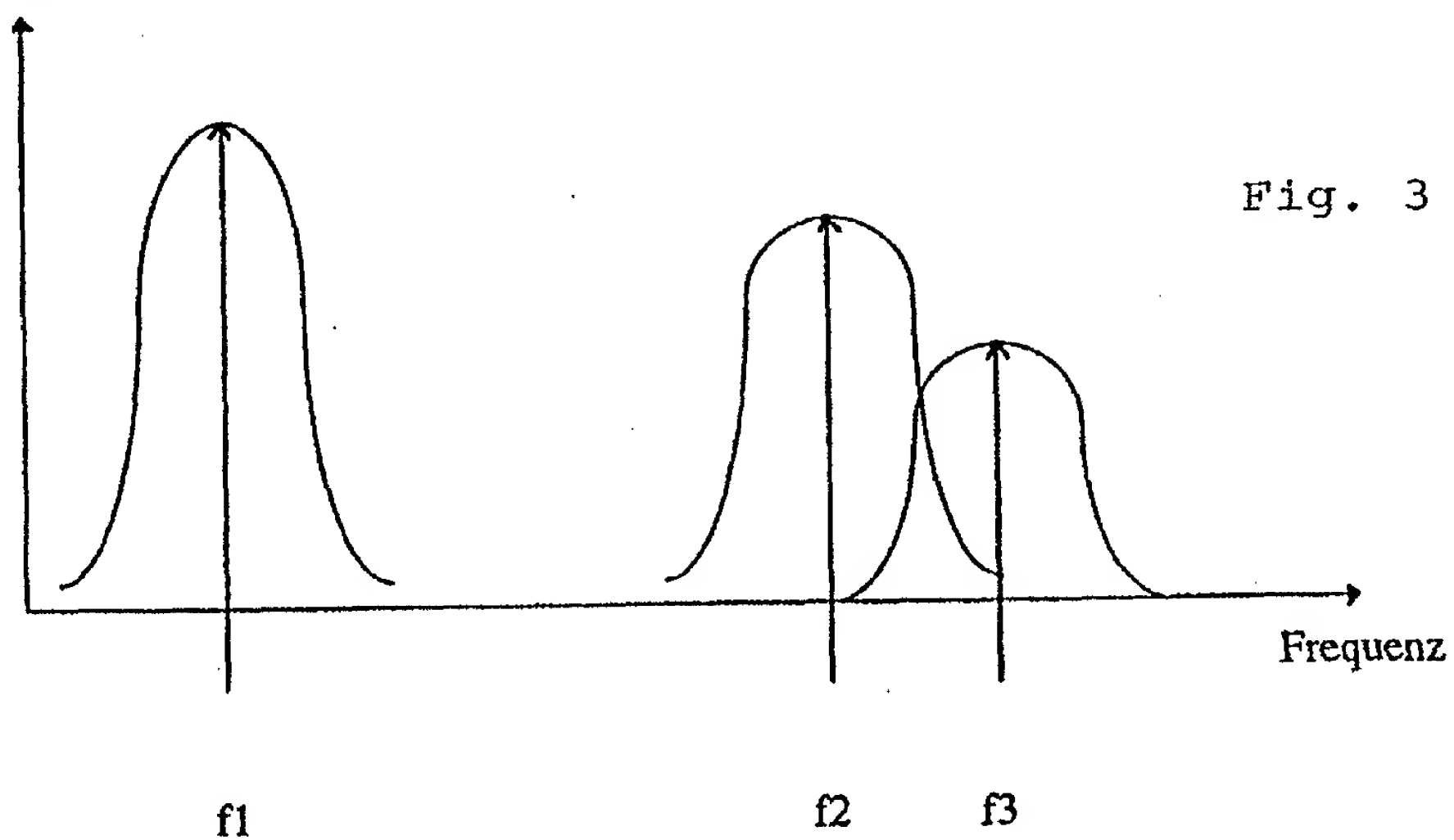
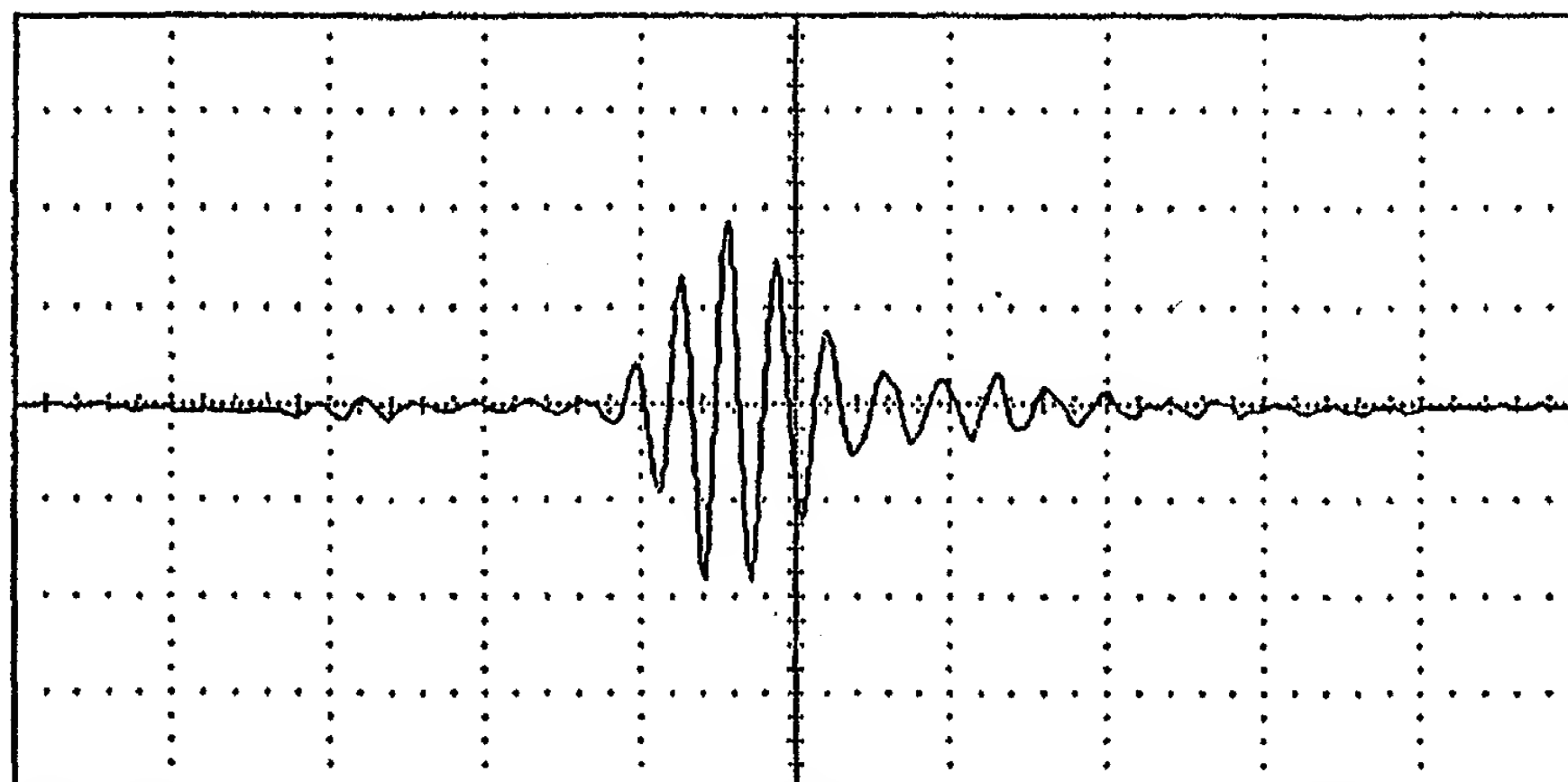


Fig. 3



408.000 us		508.000 us		608.000 us
#Avg 12		20.0 us/div		repetitive
	current	minimum	maximum	average
Vp-p	(1) 73.1250mV	71.8750mV	74.3750mV	72.5962mV

Fig. 4